



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال شانزدهم، شماره‌ی ۵۶
زمستان ۱۳۹۵، صفحات ۲۶۱-۲۴۱

محمدحسن صادقی‌روشن^۱

پهنه‌بندی پتانسیل خطر بیابان‌زایی با کاربرد مدل تحلیل مولفه‌های اصلی، در منطقه خضرآباد یزد

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۳۰

چکیده

ارزیابی بیابان‌زایی می‌کوشد تا مهم‌ترین مولفه‌های بیابان‌زایی را در هر منطقه‌ای تعیین و در نهایت پس از ارزیابی شاخص‌ها در واحدهای کاری، نقشه شدت بیابان‌زایی را ارائه کند. با توجه به اهمیت کاربردی این نقشه‌ها علیرغم توسعه فنون و روش‌های کمی در طی سال‌های اخیر، همچنان سعی در ارائه روش‌هایی با خطای کم‌تر، ضریب اطمینان بیش‌تر و سرعت و سهولت بالاتر است. از آنجا که پدیده بیابان‌زایی حاصل برهم‌کنش متغیرهای متعددی در طی زمان می‌باشد لذا می‌بایست از روشی جهت پهنه‌بندی استفاده شود که در عین حفظ دقت، بر سرعت و سهولت دستیابی به نتایج بیافزاید. از این‌رو این پژوهش هدف خود را ارائه و راستی‌آزمایی مدل تحلیل مولفه‌های اصلی قرار داد. این روش قادر است به‌منظور تقلیل بعد مساله مورد مطالعه و سهولت در دستیابی به نتایج، مولفه‌های اصلی مساله را در نظر گرفته و اقدام به حذف سایر مولفه‌ها در محاسبات بکند و همچنین با امکان استفاده از نرم‌افزار، بر دقت، سرعت و سهولت عملیات پهنه‌بندی بیفزاید. به‌منظور ارزیابی کارایی، مدل مذکور در منطقه خضرآباد استان یزد به مساحت ۷۸۱۸۰ هکتار به‌کار گرفته شد. نتایج حاصل شده نشان داد که ۹/۳۵٪ درصد از کل منطقه مطالعاتی به‌صورت خیلی‌شدید و ۲۵/۶٪ درصد به‌صورت نسبتاً‌شدیدی تحت فرآیند بیابان‌زایی می‌باشد و

E-mail: m.sadeghiravesh@tiau.ac.ir

۱- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان.

بیابان‌زایی با شدت نسبتاً متوسط (۰/۴۱/۸۵٪) بیش‌ترین سهم را در منطقه مطالعاتی به‌خود اختصاص داده است. در عین حال ارزش کمی شدت بیابان‌زایی برای کل منطقه از مجموع عوامل ۳/۲۹ (کلاس نسبتاً شدید یا IV) به‌دست آمد.

کلید واژه‌ها: شدت بیابان‌زایی، مدل تحلیل داده‌های چند متغیره، مدل تحلیل مولفه‌های اصلی.

مقدمه

ارزیابی بیابان‌زایی می‌کوشد تا مهم‌ترین مولفه‌های بیابان‌زایی را در هر منطقه‌ای تعیین و در نهایت پس از ارزیابی شاخص‌ها در واحدهای کاری، نقشه شدت بیابان‌زایی را ارائه کند. فنون ارزیابی شدت بیابان‌زایی و تهیه نقشه پهنه‌بندی آن همواره به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارهای برنامه‌ریزی و مدیریت به‌منظور دستیابی به توسعه پایدار در عرصه منابع طبیعی مطرح بوده (وانگ^۲ و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۳۹۱) و کاربرد این نقشه‌ها منجر به بالا رفتن بازدهی طرح‌های کنترل، بازسازی و احیاء اراضی در معرض خطر بیابان و جلوگیری از اتلاف سرمایه‌های محدود می‌شود؛ بنابراین با توجه به اهمیت کاربردی این نقشه‌ها، علیرغم توسعه فنون و روش‌های کمی در پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی، در طی سال‌های اخیر همچنان سعی در ارائه روش‌های کمی با خطای کم‌تر، ضریب اطمینان بیش‌تر و سرعت و سهولت دستیابی به نتایج بالاتر است.

در زمینه ارزیابی مناطق نسبت به بیابانی شدن تاکنون تحقیقات زیادی صورت گرفته است، از جمله، روش تحقیقی مقدماتی برای ارزیابی نقشه‌بندی بیابان‌زایی (فائو-یونپ^۳، ۱۹۸۴)، مدل حساسیت زیست‌محیطی نواحی^۴ (یوروپین کمسیون^۵، ۱۹۹۹)، مدل طبقه‌بندی نوع و شدت بیابان‌زایی در ایران^۶ (اختصاصی و مهاجری، ۱۳۷۴: ۵۲-۳۵)، مدل گروه احیاء مناطق خشک دانشکده منابع طبیعی^۷ (احمدی و همکاران، ۱۳۸۵: ۱-۴۸۰)، مدل تاکسونومی عددی توسعه‌یافته^۸ (صادقی‌روش و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۲۷-۲۱۳)، مدل آسیب‌پذیری زیست‌محیطی^۹ (صادقی‌روش و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۷-۷۵) و روش آنتروپی شانون^{۱۰} (صادقی‌روش، ۱۳۹۲: ۵۷۲-۵۵۷) می‌باشد.

فائو-یونپ در سال ۱۹۸۴ روشی را تحت عنوان "روش مقدماتی برای ارزیابی نقشه‌بندی بیابان‌زایی" منتشر کرد. در این روش وضعیت فعلی، نرخ و خطر بیابان‌زایی تشریح شده است، فرآیندهای بیابان‌زایی در این طرح عبارت بودند از: تخریب پوشش گیاهی، فرسایش بادی، فرسایش و تخریب ساختمان خاک، کاهش مواد آلی خاک، شور و قلیایی

2- Wang

3- FAO- UNEP

4- Environment Sensitive Area to Desertification(ESA)

5- European commission

6- Iranian classification of desertification(ICD)

7- Iranian Model of Desertification Potential Assessment(IMDPA)

8- Modify Numerical Taxonomy(MNT)

9- Environmental vulnerability index (EVI)

10- Shanons Entropy Model

شدن، ماندابی شدن و تجمع مواد سمی، این فرآیندها بر اساس مشاهدات زمینی، تفسیر عکس‌های هوایی و اطلاعات موجود و به کمک مدل‌سازی آماری، در چهار کلاس خفیف، متوسط، شدید و خیلی‌شدید طبقه‌بندی شدند (فائو-یونپ، ۱۹۸۴). سپس در سال ۱۳۷۴ اختصاصی و مهاجری، روشی را جهت طبقه‌بندی نوع و شدت بیابانزایی اراضی در ایران معرفی کردند. در این روش عوامل مؤثر در بیابانزایی به روش ترازوی وزنی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و معیارهای ارائه شده جهت ارزیابی این عوامل عمدتاً توصیفی و کیفی هستند (اختصاصی و مهاجری، ۱۳۷۴: ۳۸). در ادامه مدل حساسیت زیست‌محیطی نواحی (ESA) در سال ۱۹۹۹ از طرف کمیسیون اروپا در چارچوب پروژه مدالوس^{۱۱} برای ارزیابی و تهیه نقشه بیابانزایی ارائه گردید. در این مدل چهار شاخص تحت عنوان کیفیت خاک، کیفیت اقلیم، کیفیت پوشش گیاهی و مدیریت به‌عنوان شاخص‌های کلیدی بیابانزایی تعریف شدند و در نهایت نقشه بیابانزایی از میانگین هندسی شاخص‌های مذکور به‌دست آمد (یوروپین کمیسیون^{۱۲}، ۱۹۹۹). در سال ۱۳۸۳ در چارچوب مدل مدالوس، مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابانزایی (IMDPA) در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه شد. در این مدل سعی شد معیارها و شاخص‌های انتخابی، متناسب با شرایط زیست‌محیطی ایران تعیین و درجه‌بندی شوند. بر این مبنا ۹ معیار اقلیم، زمین‌شناسی، خاک، پوشش گیاهی، کشاورزی، فرسایش (بادی و آبی)، آب و آبیاری، مسائل اقتصادی و اجتماعی و صنعت و شهرسازی و ۳۵ شاخص به‌منظور ارزیابی پتانسیل بیابانزایی توسط کارشناسان در نظر گرفته شد. امتیازدهی شاخص‌ها به‌منظور حداقل کردن خطای امتیازدهی و سهولت در نمره‌دهی به‌صورت رتبه‌ای بیان شد (احمدی و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۵). در سال ۱۳۸۸ صادقی‌روش مدلی را تحت عنوان تاکسونومی عددی توسعه یافته (MNT) ارائه کرد. این مدل دارای ساختار سلسله‌مراتبی و بر پایه مقایسات زوجی بنا نهاده شد و همچنین به‌منظور کاهش خطای کارشناسی در ارزش‌گذاری شاخص‌ها علاوه بر کاربرد روش دلفی بر مبنای پرسشنامه، از شاخص ناسازگاری به‌منظور خود‌کنترلی قضاوت‌ها استفاده شد (صادقی‌روش و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۱۶). با بررسی که بر روی این روش‌ها صورت گرفت، ملاحظه شد که این روش‌ها نیز به‌نوبه خود دارای نواقصی بودند. از جمله، غیربومی و کیفی بودن شاخص‌ها، خطای کارشناسی، کوچک مقیاس بودن، عدم امکان تفکیک عوامل انسانی و طبیعی در نتیجه‌گیری‌ها و غیره، هر چند این نواقص در مدل‌های بعدی و به‌ویژه مدل تاکسونومی تا حدود زیادی مرتفع شد ولی همچنان این مدل‌ها دارای نقص اساسی بودند و آن این بود که در ارزش‌گذاری شاخص‌ها، تنها ارزش مطلق هر شاخص در هر واحد کاری در نظر گرفته می‌شد و اولویت آن‌ها نسبت به هم در ایجاد شرایط بحرانی در نظر گرفته نمی‌شد که این امر منجر به دست‌یابی به نتایج غیر واقعی می‌شد. لذا به‌منظور رفع این مشکل صادقی‌روش با کاربرد روش دلفی در قالب مدل آسیب‌پذیری زیست‌محیطی (EVI) (صادقی‌روش و همکاران، ۱۳۹۱: ۷۵-۸۷) و روش آنتروپی شانون (صادقی‌روش، ۱۳۹۲: ۵۷۲-۵۵۷) اقدام به برآورد اولویت شاخص‌ها نسبت به هم در فرآیند بیابانزایی کرد. سپس با ترکیب اولویت شاخص‌ها نسبت به هم و اهمیت هر شاخص در هر واحد کاری، شدت بیابانزایی در هر واحد کاری به تفکیک

11- Mediterranean Desertification and Land Use (MEDALUS)

12- European Commission

شاخص‌های انسانی، طبیعی و مجموع شاخص‌ها را به دست آورد. از آنجا که پدیده بیابان‌زایی حاصل برهم‌کنش متغیرهای متعدد و مختلفی در طی زمان می‌باشد لذا می‌بایست از روشی جهت پهنه‌بندی استفاده شود که در عین حفظ دقت و ضریب اطمینان بالا، بر سرعت و سهولت دستیابی به نتایج بیافزاید. از این رو بر آن شدیم تا با به‌کارگیری روش تحلیل مولفه‌های اصلی^{۱۳} پتانسیل بیابان‌زایی یا آسیب‌پذیری منطقه را بر مبنای اولویت شاخص‌ها نسبت به هم و اهمیت هر شاخص در هر واحد کاری برآورد کنیم. این روش همچنین قادر است با در نظر گرفتن مولفه‌های اصلی و حذف سایر مولفه‌ها در محاسبات و همچنین امکان استفاده از نرم‌افزار، بر دقت، سرعت و سهولت عملیات پهنه‌بندی بیفزاید. تحلیل مولفه‌های اصلی یکی از انواع مهم‌ترین روش‌های تحلیل داده‌های چند متغیره^{۱۴} (MDA) است که توسط هوتلینگ^{۱۵} ارائه شد. هدف اصلی آن تقلیل بعد مساله مورد مطالعه و پهنه‌بندی توسعه فضایی است (ابدی و ولیامز^{۱۶}، ۲۰۱۰: ۴۳۳؛ کلانتری، ۱۳۹۰: ۱۴۵). در این زمینه مطالعات متعددی در حوزه‌های مختلف علوم به انجام رسیده که از جمله می‌توان اندازه‌گیری رشد بدنی جوجه‌های تحت مدیریت گسترده (جنا^{۱۷} و همکاران، ۲۰۱۴: ۷۷-۸۲)، پردازش سیگنال رادار جوی (اوما ماهسوارا رائو^{۱۸} و همکاران، ۲۰۱۴: ۷۹-۸۴)، برآورد جریان در سیستم توزیع آب (پارک و جونگ^{۱۹}، ۲۰۱۴: ۳۹۵-۴۰۰) تحلیل و برآورد دیابت قندی (جالدیال و میشر^{۲۰}، ۲۰۱۴: ۱۶۶-۱۶۴)، تجزیه و تحلیل مالی در املاک و مستغلات (لی و زانگ^{۲۱}، ۲۰۱۱: ۴۵۰۳-۴۴۹۹)، پیش‌بینی فضایی محتوی رطوبت خاک در زهکش‌ها (کیو^{۲۲} و همکاران، ۲۰۱۰: ۲۰۸-۲۰۸) و ارزیابی کیفیت آب (باردواج^{۲۳} و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۲۷-۱۱۷)، اشاره کرد. همچنین در سال‌های اخیر، تحقیقاتی در این چارچوب در کشور مورد توجه قرار گرفته که از جمله می‌توان به مطالعات بررسی آلودگی هوا (قربانی، ۱۳۹۱: ۱۰۸-۸۹)، ارزیابی کیفیت آب (فریادی و همکاران، ۱۳۹۱: ۷۵-۹۲)، مدل‌سازی تصادفات آزادراه‌ها (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۳۸-۳۲۵)، شناسایی ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی در استخراج معادن (قورچی‌روکی و کریم‌پور، ۱۳۸۹: ۴۳-۳۶)، رسوب‌زدایی حوزه‌های آبخیز (مدرس و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۶۰-۲۴۹) حذف متغیرهای غیرضروری هواشناسی در مطالعات پهنه‌بندی حداکثر بارش روزانه (خادم چین مقدم و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۰۶-۹۷)، انتخاب متغیرهای اصلی در تبخیر و تعرق مرجع (سیفی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۱۹۶-۱۱۸۹)، پیش‌بینی جریان آب رودخانه (نوری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۳۶-۱۲۹)، ارزیابی کیفیت زمانی و مکانی آب‌های سطحی (پژمان و همکاران، ۲۰۰۹: ۴۷۶-۴۶۷)، رتبه‌بندی

13- Principal Component Analysis(PCA)

14- Multivariate Data Analysis(MDA)

15- Hotelling

16- Abdi and Williams

17- Egena

18- Uma Maheswara Rao

19- Park and Jung

20- Jhaldiyal and Mishra

21- Li and Zhang

22- Qiu

23- Bhardwaj

اراضی مخروبه حاصل از عملیات انسانی و فرآیندهای طبیعی تشکیل داده است که نشان‌دهنده وضعیت کاملاً تپیک از نظرگاه بیابان‌زایی در منطقه و بیان‌کننده لزوم شناخت و تهیه نقشه ارزیابی شدت بیابان‌زایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تحلیل مولفه اصلی یکی از روش‌های آماری چند متغیره می‌باشد که می‌توان از آن برای کاهش پیچیدگی تحلیل متغیرهای اولیه مسئله در مواردی که با حجم زیادی از اطلاعات روبرو هستیم و همچنین برای تفسیر بهتر اطلاعات استفاده نمود (کامدیورن^{۲۴} و همکاران، ۲۰۰۵: ۵۸۲). با این روش، متغیرهای اولیه به مولفه‌های جدید و مستقل (با ضرایب همبستگی صفر برای هر دو مولفه) تبدیل می‌شوند و سپس از این مولفه‌ها به جای متغیرهای اولیه استفاده می‌گردد. مولفه‌های جدید، ترکیبی خطی از متغیرهای اولیه هستند (لیو^{۲۵} و همکاران، ۲۰۰۳: ۷۹). به علاوه چون در تشکیل مولفه‌ها از تمام متغیرها استفاده می‌گردد، در نتیجه اطلاعات متغیرهای اولیه با کم‌ترین تلفات به وسیله مولفه‌های حاصل ارائه می‌شود و باعث از دست دادن جنبه‌های اطلاعاتی داده‌های اصلی نمی‌شود (موهان و آرموگام^{۲۶}، ۱۹۹۶: ۳).

در این پژوهش به منظور پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی در چارچوب روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) اقدام به جمع‌آوری داده‌ها و تعیین واحدهای کاری، بی‌مقیاس کردن شاخص‌ها، وزن‌دهی، محاسبه همبستگی و تعیین مقدار ویژه برای آن‌ها کردیم. سپس به منظور دستیابی به نتایج بهتر اقدام به چرخش مناسب بر روی ماتریس ضرایب متغیرها کرده و بردار حاصل از مولفه‌های اصلی چرخش یافته (دارای بیش‌ترین واریانس) را که بر مبنای مقادیر ویژه حاصل شده به عنوان اوزان شاخص‌ها در نظر گرفته و از ضریب اوزان شاخص‌ها و ارزش هر شاخص در هر واحد کاری، شاخص ترکیبی شدت بیابان‌زایی به دست آمد (ابدی و ولیامز، ۲۰۱۰: ۴۳۴؛ کلاتتری، ۱۳۹۰: ۱۴۹-۱۴۵). در نهایت نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس این شاخص ترکیبی در محیط Arcview حاصل شد. از این‌رو مراحل پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی بر مبنای مدل PCA به شرح ذیل بیان می‌شود.

یافته‌ها و بحث

منابع اطلاعاتی مورد استفاده در این پژوهش شامل عکس‌های هوایی، اطلاعات موجود در قالب نقشه، اطلاعات حاصل شده از مطالعات میدانی و آمار و گزارش‌های سازمان‌ها و ادارات ذی‌ربط می‌باشد؛ که این اطلاعات در نهایت به شکل برداری ذخیره شد. این اطلاعات با توجه به دقت و قدرت تفکیک‌شان و ویژگی مسائل مورد بررسی، مورد استفاده قرار گرفت (هیسکوک^{۲۷}، ۱۹۹۵: ۱۸۳). نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ سراسری (متساوی البعد ۱۰۰ متری) که در بردارنده منطقه مورد مطالعه بود، از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شد. در ادامه پس از مشخص

24- Camdevyren

25- Liu

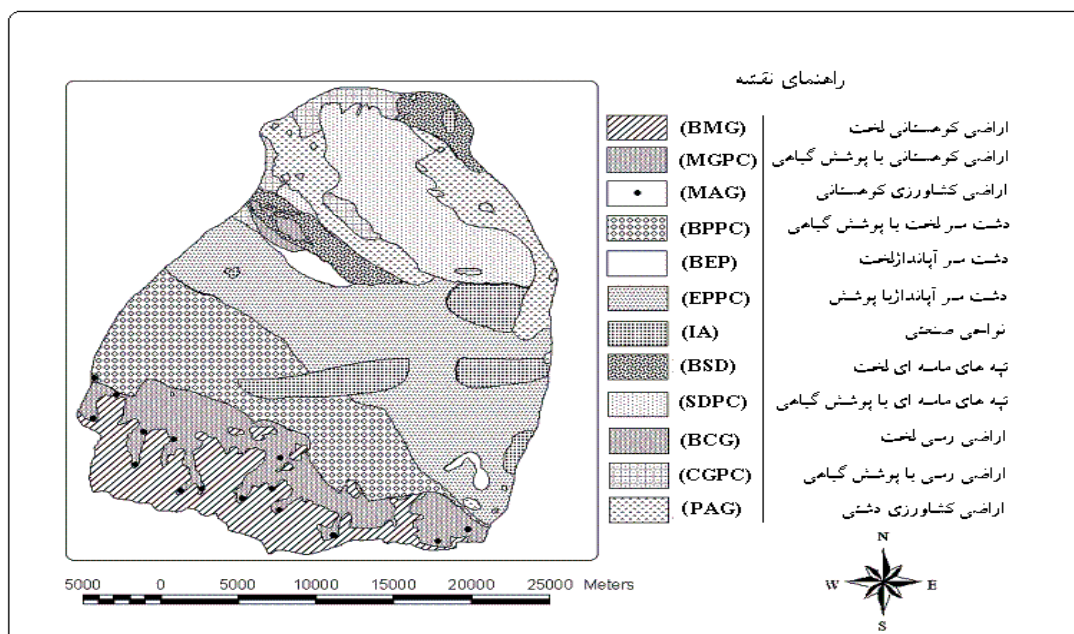
26- Mohan and Arumugam

27- Hiscok

کردن مرز منطقه مطالعاتی، نقشه مذکور در محیط Arc/Info با استفاده از فرمان Arc edit رقومی شد. در مرحله بعد نقشه توپوگرافی رقومی شده در محیط Arc view (3.2a) در قالب view و Theme نمایش داده شد. سپس با استفاده از فرمان^{۲۸} Surface شبکه نامنظم مثلثی (TIN^{۲۹}) به دست آمد و از روی آن همراه با مطالعات میدانی وسیع نقشه‌های موضوعی مورد نیاز به منظور ارزیابی شرایط محیطی و تفکیک واحدهای کاری از جمله نقشه‌های طبقات شیب، جهت، ارتفاع، هیدرولوژی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، مورفولوژی، خاک‌شناسی و غیره در قالب نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ به دست آمد (قهرودی تالی، ۱۳۸۳: ۱۲۹-۷۹).

- تعیین واحدهای کاری

به منظور تهیه چارچوبی مناسب جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی اقدام به تفکیک واحدهای کاری از روش ژئومورفولوژی شد. (احمدی، ۱۳۸۴: ۴۷۱) بدین منظور در ابتدا بعد از تهیه و جمع‌آوری اطلاعات حاصل از تفسیر عکس‌های هوایی، اطلاعات رقومی موجود در قالب نقشه و آمار و گزارش‌های سازمان‌ها و ادارات، اقدام به وارد کردن این اطلاعات به صورت رقومی در محیط Arc Wive شد و نقشه‌های موضوعی ژئومورفولوژی، کاربری اراضی و تیپ‌های گیاهی به دست آمد. سپس اقدام به هم‌پوشانی و تلفیق لایه‌های مذکور شد و بعد از خلاصه‌سازی، لایه نهایی واحدهای کاری شکل گرفت (شکل ۲). در نقشه واحدهای کاری، ۱۲ واحد کاری برحسب اهداف مطالعاتی تفکیک شد.



شکل ۲: واحدهای کاری منطقه خضرآباد

28- Surface extension

29- Triangulate Irregular Network (TIN)

تعیین شاخص‌های موثر در ارزیابی بیابان‌زایی و بی‌مقیاس کردن شاخص‌ها

بر پایه اطلاعات به‌دست آمده از ارزیابی منابع طبیعی و مطالعات میدانی بر طبق ادبیات تحقیق، ۳۰ شاخص موثر در رخدادهای بیابان‌زایی منطقه مطالعاتی به تفکیک طبیعی و انسانی تعیین شد. به‌منظور انتخاب این شاخص‌ها سه محور اصلی ارتباط با پدیده بیابان‌زایی، سهولت دسترسی و سهولت به‌روزرسانی در چارچوب دو فاکتور هزینه و زمان مد نظر قرار گرفت. به منظور بی‌مقیاس کردن و هم‌جهت کردن ارزش شاخص‌ها، از آنجا که شاخص‌ها کمی و کیفی هستند از روش‌های بی‌مقیاس کردن شاخص‌ها در PCA از جمله روش استاندارد کردن، تقسیم بر میانگین یا انحراف معیار، که بر مبنای شاخص‌های کمی هستند استفاده نشد، بلکه برای هر شاخص ارزش‌های کمی از صفر تا یک تعریف شد. ارزش صفر برای نواحی نمایش‌گر کم‌ترین و ارزش یک، بیش‌ترین میزان پتانسیل بیابان‌زایی می‌باشد. و ارزش‌های مابین آن‌ها بیانگر بیابان‌زایی نسبی هستند (جداول ۱ و ۲).

جدول ۱- شاخص‌های طبیعی موثر در رخداد بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی و ارزش‌دهی آن‌ها در مقیاس واحد

شماره	شاخص‌های موثر در بیابان‌زایی	۰-۰/۲۵	۰/۲۶-۰/۵۰	۰/۵۱-۰/۷۵	۰/۷۶-۱
۱	میانگین بارش سالانه (mm)	> ۳۰۰	۱۵۰-۳۰۰	۶۰-۱۵۰	< ۶۰
۲	میانگین سرعت باد (m/s)	< ۳	۳-۵/۵	۵/۵-۷/۵	> ۷/۵
۳	شاخص خشکی (P/ET _p)	> ۰/۵	۰/۲-۰/۵	۰/۰۵-۰/۲	< ۰/۰۵
۴	بافت خاک	L, SCL, SL, LS, CL	SC, SiL, SiCL	Si, C, SiC	S
۵	شوری خاک (EC-mmhos/cm)	< ۴	۴-۱۰	۱۰-۳۰	> ۳۰
۶	زهکشی خاک (in/h)	> ۳	۱/۵-۳	۰/۵-۱/۵	< ۰/۵
۷	عمق خاک (cm)	> ۸۰	۵۰-۸۰	۲۰-۵۰	< ۲۰
۸	شیب (%)	< ۶	۶-۱۸	۱۸-۳۵	> ۳۵
۹	فرسایش (آب و باد)	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
۱۰	شوری آب (EC-μmhos/cm)	< ۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۵۰۰	> ۲۵۰۰
۱۱	عمق سطح آب زیرزمینی (cm)	> ۳۰۰	۱۳۰-۳۰۰	۷۵-۱۳۰	< ۷۵
۱۲	تراکم پوشش گیاهی (%)	> ۵۰	۲۵-۵۰	۱۰-۲۵	< ۱۰
۱۳	بوته کنی مقطع اشجار (%)	< ۱۰	۱۰-۲۵	۲۵-۵۰	> ۵۰
۱۴	ظرفیت برد مراتع (AU/100 day)	> ۱/۵	۰/۷۵-۱/۵	۰/۲۵-۰/۷۵	< ۰/۲۵
۱۵	فشار دام (ظرفیت مراتع/دام موجود)	< ۱/۵	۱/۵-۲	۲-۳	> ۳

جدول ۲- شاخص‌های انسانی موثر در رخداد بیابانزایی در منطقه مطالعاتی و ارزش‌دهی آن‌ها در مقیاس واحد

شماره	شاخص‌ها	۰-۰/۲۵	۰/۲۶-۰/۵۰	۰/۵۱-۰/۷۵	۰/۷۶-۱
۱	شخم و آیش	شخم و آیش مناسب	شخم و آیش نسبتاً مناسب	شخم نامناسب با آیش کم‌تر از ۶ ماه	شخم کاملاً نامناسب و بدون آیش
۲	روش آبیاری	کاملاً مناسب	مناسب ولی نیاز به اصلاحات دارد	نسبتاً مناسب ولی نیاز به کنترل و اصلاح دارد	نامناسب و نیاز به کنترل و اصلاح دارد
۳	کارایی آبیاری (%)	<۳۰	۳۰-۵۰	۵۰-۸۰	>۸۰
۴	سیستم آبیاری	سیستم تحت فشار مدرن	سیستم تحت فشار کلاسیک	سیستم سنتی مدرنیزه شده	شیوه آبیاری سنتی بدون طراحی بهینه
۵	کاهش سطح آب زیرزمینی	<۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	>۳۰
۶	رطوبت خاک	خاک همیشه مرطوب است	رطوبت خاک بیش‌تر از نقطه پژمردگی است	رطوبت خاک کم‌تر از نقطه پژمردگی است	سطح خاک خشک و رطوبت کم‌تر از نقطه پژمردگی
۷	استفاده از ماشین‌آلات، مواد شیمیایی و کود آلی	مناسب	نسبتاً مناسب	نامناسب	کاملاً نامناسب
۸	الگوی کشت و مدیریت تولید	باغات و گونه‌های دائمی بدون آیش، الگوی کشت منطبق با شرایط محیط	بیش‌تر از ۲۰٪ منطقه تحت کشت، الگوی کشت نسبتاً منطبق با شرایط محیط	بیش‌تر از ۵۰٪ منطقه تحت کشت، الگوی کشت غیر منطبق با شرایط محیط	بیش‌تر از ۸۰٪ منطقه تحت کشت، الگوی زراعی نامناسب
۹	مشارکت مردمی	مشارکت کارشناسان و مردم منطقه مناسب بوده	عدم توجه یا کم توجهی مردم نسبت به کارهای کارشناسی	انجام کارهای کارشناسی بدون توجه به مردم	تضاد رابطه بین مردم و کارشناسان
۱۰	سواد (%)	>۷۵	۵۰-۷۵	۲۵-۵۰	<۲۵
۱۱	اشتغال (%)	>۶۰	۳۰-۶۰	۱۰-۳۰	<۱۰
۱۲	تراکم بیولوژیک جمعیت (N/km ²)	<۱۰۰	۱۰۰-۳۵۰	۳۵۰-۶۰۰	>۶۰۰
۱۳	تغییر کاربری اراضی	تغییر کاربری کم و با مدیریت صحیح اداره می‌شود	تغییر کاربری زیاد و با مدیریت نامناسب اداره می‌شود	تغییر کاربری زیاد و با مدیریت نامناسب اداره می‌شود	تغییر کاربری بی‌رویه و بدون مدیریت می‌باشد.
۱۴	آگاهی از نتایج تخریب	کاملاً آگاه	نسبتاً آگاه	ناآگاه	کاملاً ناآگاه
۱۵	تقسیم اراضی به قطعات کوچک	تقسیم اراضی کم با توسعه زیاد تعاونی‌های زراعی	تقسیم اراضی متوسط با فعالیت متوسط تعاونی‌های زراعی	تقسیم اراضی زیاد با فعالیت کم تعاونی‌های زراعی	تقسیم اراضی بی‌رویه و عدم فعالیت تعاونی‌های زراعی

جدول ۳- ارزش‌گذاری واحدهای کاری به تفکیک شاخص‌ها (F_i)

۳۰	۲۹	...	۵	۴	۳	۲	۱	TMUs
۰/۰۱	۰/۰۱	...	۰/۲۶	۰/۳۷	۰/۶۲	۰/۴۸	۰/۵	(BMG)
۰/۰۱	۰/۰۱	...	۰/۲۸	۰/۵	۰/۶۹	۰/۴۸	۰/۶۶	(MGPC)
:	:	:	:	:	:	:	:	:
۰/۶۸	۰/۳۷	...	۰/۲۶	۰/۴۴	۰/۶۲	۰/۴۸	۰/۵۶	(MAG)

- تعیین اهمیت هر شاخص در هر واحدکاری

در ادامه با تشکیل ماتریس داده‌ها، اهمیت هر شاخص در هر واحدکاری، از جهت اثر بر فرآیند بیابان‌زایی با توجه به جدول امتیازدهی شاخص‌ها (جداول ۱ و ۲) و به تفکیک شاخص‌های طبیعی و انسانی در مقیاس صفر الی یک، مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۳ و ۴).

جدول ۴ - ارزش‌گذاری واحدهای کاری به تفکیک شاخص‌ها (F)

	Indicator				
	I ₁	I ₂	I ₃	...	I _N
TMU ₁	r ₁₁	r ₁₂	r ₁₃	...	r _{1N}
TMU ₂	r ₂₁	r ₂₂	r ₂₃	...	r _{2N}
:	:	:	:	:	:
TMU _M	r _{M1}	r _{M2}	r _{M3}	...	r _{MN}

محاسبه ماتریس همبستگی (R) برای متغیرهای (مقادیر شاخص‌های) اولیه

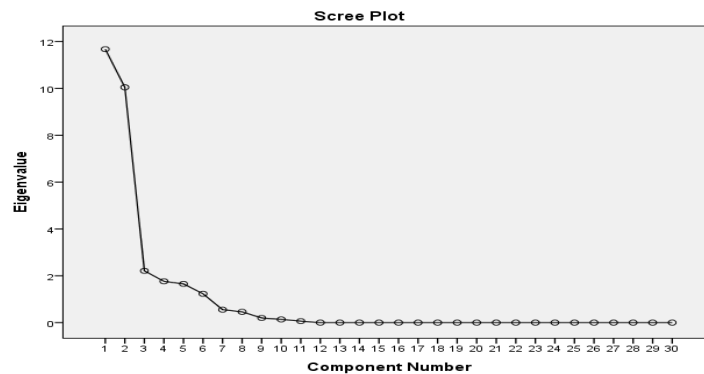
این ماتریس، که ماتریسی متقارن است، میزان تغییرات در نمونه و میزان همبستگی N متغیر را باهم نشان می‌دهد. عضوهای روی قطر اصلی این ماتریس، واریانس متغیرهای ورودی و بقیه درایه‌های این ماتریس، کوواریانس بین متغیرهای ورودی است. چون برای تشکیل این ماتریس از داده‌های بی‌مقیاس شده استفاده شده است، به‌همین دلیل این ماتریس، معادل ماتریس همبستگی بین متغیرهای ورودی است (نوری و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۴۲).

محاسبه مقدار خاص (ویژه) (λ) و بردار خاص (ویژه) از ماتریس همبستگی بدین منظور معادله زیر حل می‌شود.

$$|\mathbf{R} - \lambda \mathbf{I}_N| = 0$$

در این معادله I_N یک ماتریس واحد با بعد N×N می‌باشد. بنابراین می‌توان N مقدار ویژه مرتب شده λ₁ ≥ λ₂ ≥ ... ≥ λ_p را به‌دست آورد، به‌طوری که مجموع مقادیر ویژه برابر با N باشد. هر مقدار ویژه با اطلاعات مربوط به آن (بردارهای ویژه) ویژگی‌های یک مولفه را ارائه می‌دهد. هر مولفه نیز درصدی از اطلاعاتی که توسط متغیرهای اولیه بیان می‌شود را در برمی‌گیرد و معادل با بخشی از اطلاعات مسئله است که به‌صورت عدد و رقم

در متغیرهای اولیه نهفته است. هرچه کمیت عددی مقادیر ویژه بزرگ‌تر باشد، بیانگر این است که مولفه ایجاد از آن نیز درصد بیش‌تری از اطلاعات متغیرهای اولیه را در برمی‌گیرد (جانسون و ویچرن، ۱۳۷۸: ۴۴۰-۴۳۰؛ نوری و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۴۱). اولین مولفه بیش‌ترین واریانس و آخرین آن کم‌ترین مقدار واریانس را نشان می‌دهد. انتخاب چند مولفه اول که بیش‌ترین مقدار واریانس را دارند و به‌عنوان مولفه‌های اصلی شناخته می‌شوند، از اساسی‌ترین اقدامات در تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی می‌باشد. با انتخاب چند مولفه اصلی اول، سایر مولفه‌ها از محاسبات بعدی حذف می‌شوند و بنابراین باید دقت زیادی در انتخاب آستانه حذف نمود. Scree plot یکی از روش‌های تشخیص آستانه حذف می‌باشد که در آن مقادیر ویژه در مقابل شماره مولفه‌ها رسم می‌شوند در این روش، مرز بین مولفه‌های اصلی و غیراصولی محلی است که نمودار میل به خطی شدن می‌نماید یعنی محلی که مقادیر ویژه در مقابل تغییر شماره مولفه، تغییر چندانی ننماید (سیفی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۱۹۳) (شکل ۳).



شکل ۳: نمودار تعیین عوامل اصلی با در نظر گرفتن مجموع شاخص‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS

- اجرای چرخش مناسب روی ماتریس ضرایب مولفه‌ها و برآورد اوزان شاخص‌ها

چون در تشکیل هر مولفه از تمام متغیرهای اولیه استفاده می‌شود، تفسیر مولفه‌ها مشکل خواهد بود. به این دلیل روش‌هایی برای تفسیر ساده‌تر مولفه‌ها به‌وجود آمده است. این روش‌ها، همان چرخش مولفه‌ها هستند که به دو نوع چرخش عمودی و مایل تقسیم می‌شوند. به دلیل این‌که در روش چرخش عمودی، استقلال بین مولفه‌ها حفظ می‌شود، این نوع چرخش بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مطالعات علمی بیش‌تر از چرخش وریماکس استفاده می‌شود که یکی از روش‌های چرخش عمودی است (سیمونوف^{۳۰} و همکاران، ۲۰۰۳: ۴۱۲۱). این روش نسبت به بقیه روش‌ها نتایج بهتری را ایجاد می‌کند و به‌عنوان چرخش استاندارد توصیه می‌گردد. استفاده از چرخش وریماکس برای تفسیر بهتر نتایج می‌باشد (اویانگ^{۳۱}، ۲۰۰۵: ۲۶۲۳)؛ بنابراین برای دستیابی به نتایج بهتر، بردار حاصل از مولفه‌های اصلی چرخش‌یافته به‌عنوان وزن شاخص‌ها در نظر گرفته می‌شود (عبدی و ولیامز^{۳۲}،

30- Simeonov

31- Ouyang

32- Abdi and Williams

۲۰۱۰: ۴۴۲؛ سیفی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۱۹۴). برای اجرای تحلیل مولفه‌های اصلی از نرم‌افزارهای آماری مختلفی می‌توان بهره گرفت. در این پژوهش به دلیل حجم بالای داده‌ها و به منظور دستیابی سریع و دقیق نتایج از نرم‌افزار SPSS_{v20} استفاده شد.

جدول ۵- مقدار خاص و بردار حاصل از مولفه‌های اصلی چرخش یافته مجموع شاخص‌های بیابان‌زایی منطقه خضرآباد

شماره	شاخص‌های موثر در بیابان‌زایی	مقدار ویژه	درصد واریانس	واریانس تجمعی (%)	بردار مولفه‌های اصلی چرخش یافته (W_j)
۱	میانگین بارش سالانه (mm)	۱۱/۶۷۷	۳۸/۹۲۴	۳۸/۹۲۴	۰/۹۵۱
۲	میانگین سرعت باد (m/s)	۱۰/۰۵۰	۳۳/۵۰۱	۷۲/۴۲۵	-۰/۶۴۷
۳	شاخص خشکی (P/ETP)	۲/۲۱۱	۷/۳۷۰	۷۹/۷۹۵	۰/۹۵۶
۴	بافت خاک	۱/۷۶۴	۵/۸۸۰	۸۵/۶۷۵	۰/۸۹۹
۵	شوری خاک (EC-mmhos/cm)	۱/۶۵۵	۵/۵۱۶	۹۱/۱۹۱	۰/۸۷۷
۶	زهکشی خاک (in/h)	۱/۲۳۱	۴/۱۰۴	۹۵/۲۹۵	۰/۸۹۶
۷	عمق خاک (cm)	۰/۵۵۱	۱/۸۳۷	۹۷/۱۳۲	-۰/۹۳۶
۸	شیب (%)	۰/۴۵۹	۱/۵۳۱	۹۸/۶۶۳	-۰/۹۶۲
۹	فرسایش (آب و باد)	۰/۲۰۰	۰/۶۶۷	۹۹/۳۲۹	۰/۸۹۲
۱۰	شوری آب (EC- μ mhos/cm)	۰/۱۳۷	۰/۴۵۵	۹۹/۷۸۵	۰/۹۱۸
۱۱	عمق سطح آب زیرزمینی (cm)	۰/۰۶۵	۰/۲۱۵	۱۰۰	۰/۸۴۱
۱۲	تراکم پوشش گیاهی (%)	$۷/۳۱۲^{-۱۶}$	$۲/۴۳۷^{-۱۵}$	۱۰۰	-۰/۹۳۸
۱۳	بوته کنی مقطع اشجار (%)	$۶/۴۹۴^{-۱۶}$	$۲/۱۶۵^{-۱۵}$	۱۰۰	-۰/۸۰۸
۱۴	ظرفیت برد مراتع (AU/100 day)	$۴/۴۰۷^{-۱۶}$	$۱/۴۶۹^{-۱۵}$	۱۰۰	-۰/۹۶۶
۱۵	فشار دام (ظرفیت مراتع/دام)	$۳/۹۱۱^{-۱۶}$	$۱/۳۰۴^{-۱۵}$	۱۰۰	-۰/۶
۱۶	شخم و آیش	$۳/۲۳۱^{-۱۶}$	$۱/۰۷۷^{-۱۵}$	۱۰۰	۰/۹۹۴
۱۷	روش آبیاری	$۲/۶۶۱^{-۱۶}$	$۸/۸۷۱^{-۱۶}$	۱۰۰	۰/۹۹۰
۱۸	کارایی آبیاری (%)	$۲/۲۲۰^{-۱۶}$	$۷/۳۹۹^{-۱۶}$	۱۰۰	۰/۹۹۱
۱۹	سیستم آبیاری	$۱/۵۲۹^{-۱۶}$	$۵/۰۹۷^{-۱۶}$	۱۰۰	۰/۹۹۳
۲۰	کاهش سطح آب زیرزمینی	$۱/۱۷۷^{-۱۶}$	$۳/۹۲۳^{-۱۶}$	۱۰۰	۰/۹۱۴
۲۱	رطوبت خاک	$-۱/۲۴۶^{-۱۷}$	$-۴/۱۵۲^{-۱۷}$	۱۰۰	۰/۹۴۱
۲۲	استفاده از ماشین‌آلات، مواد	$-۱/۹۴۳^{-۱۷}$	$-۶/۴۷۵^{-۱۷}$	۱۰۰	۰/۹۹۳
۲۳	الگوی کشت و مدیریت تولید	$-۱/۶۴۵^{-۱۶}$	$-۵/۴۸۳^{-۱۶}$	۱۰۰	۰/۹۹۳
۲۴	مشارکت مردمی	$-۱/۸۲۰^{-۱۶}$	$-۶/۰۶۸^{-۱۶}$	۱۰۰	۰/۷۹۲
۲۵	سواد (%)	$-۲/۵۵۰^{-۱۶}$	$-۸/۵۰۰^{-۱۶}$	۱۰۰	۰/۷۷۴
۲۶	اشتغال (%)	$-۳/۸۴۲^{-۱۶}$	$-۱/۲۸۱^{-۱۵}$	۱۰۰	۰/۸۴۸
۲۷	تراکم بیولوژیک جمعیت (N/km ²)	$-۴/۶۲۹^{-۱۶}$	$-۱/۵۴۳^{-۱۵}$	۱۰۰	۰/۹۶۸
۲۸	تغییر کاربری اراضی	$-۵/۵۵۲^{-۱۶}$	$-۱/۸۵۱^{-۱۵}$	۱۰۰	۰/۷۰۹
۲۹	آگاهی از نتایج تخریب	$-۶/۳۲۱^{-۱۶}$	$-۲/۱۰۷^{-۱۵}$	۱۰۰	۰/۷۱۷
۳۰	تقسیم اراضی به قطعات کوچک	$-۷/۳۲۱^{-۱۶}$	$-۲/۴۴۰^{-۱۵}$	۱۰۰	۰/۹۸۹

محاسبه شاخص ترکیبی (CI) و تهیه نقشه

به‌منظور ارزیابی شدت بیابانزایی از شاخص ترکیبی (CI) استفاده شد. این شاخص در واقع ترکیبی از بردار مولفه‌های اصلی چرخش یافته یا اوزان شاخص‌ها (W_j) (جدول ۵) و ارزش هر شاخص در هر واحد کاری از لحاظ بیابانزایی (r_{ij}) (جدول ۴) است و بر مبنای رابطه خطی ذیل محاسبه می‌شود (عبدی و ولیامز، ۲۰۱۰: ۴۳۴؛ کلاتری، ۱۳۹۰: ۱۴۹).

$$C.I = \sum_{i=1}^n r_{ij} \times W_j \quad (2)$$

ارزش‌های شاخص ترکیبی برآورد شده از رابطه ۲ یک‌سری از ارزش‌های پیوسته هستند که به‌منظور سهولت در خواندن و فهمیدن نتایج برآورد شده و نشان دادن تفاوت‌های ناحیه‌ای بیابانزایی در سطوح مناسبی طبقه‌بندی شدند. در نهایت بر روی نقشه واحدهای کاری، از تلفیق واحدهای دارای طبقات یکسان، نقشه‌های نهایی پتانسیل شدت بیابانزایی دست آمد. مطابق ادبیات تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SPSS_{v20} مقدار خاص و بردار خاص را برای شاخص‌های مدنظر به تفکیک شاخص‌های طبیعی، انسانی و مجموع شاخص‌ها به‌دست آوردیم. مقدار ویژه هر شاخص برابر واریانس محاسبه شده برای آن شاخص می‌باشد. این مقادیر ویژه بر اساس روند نزولی استخراج می‌شوند (جانسون و ویچرن، ۱۳۷۸: ۴۴۰-۴۳۰). هر چه کمیت عددی مقادیر ویژه بزرگ‌تر باشد بیانگر این است که شاخص‌های ایجاد از آن نیز درصد بیشتری از اطلاعات را دربرمی‌گیرند؛ بنابراین بردار حاصل از مولفه‌های اصلی دارای بیش‌ترین واریانس چرخش یافته را که بر مبنای مقادیر ویژه حاصل شد به‌عنوان وزن شاخص‌ها در نظر گرفتیم (عبدی و ولیامز، ۲۰۱۰: ۴۴۲؛ کلاتری، ۱۳۹۰: ۱۴۶). مقدار خاص و بردار حاصل از مولفه‌های اصلی چرخش یافته بر مبنای مجموع شاخص‌های بیابانزایی (جدول ۵) ارائه شد و از ارائه جداول مبتنی بر شاخص‌های طبیعی و انسانی خودداری شد. پس از تعیین بردار حاصل از مولفه‌های اصلی چرخش یافته یا وزن شاخص‌ها، شاخص ترکیبی (CI) که بیانگر شدت بیابانزایی می‌باشد از مجموع سطری ارزش هر شاخص در هر واحد کاری از لحاظ بیابانزایی (r_{ij}) (جدول ۴) در ضریب اوزان شاخص‌ها از لحاظ بیابانزایی در مقایسه باهم (W_j) (جدول ۵) و بر مبنای رابطه ۲ به تفکیک هر واحد کاری و در قالب شدت بیابانزایی ناشی از شاخص‌های طبیعی، انسانی و مجموع شاخص‌ها محاسبه شد (جداول ۶ و ۷).

جدول ۶ - جدول ارزش هر شاخص در ضریب اوزان شاخص‌ها حاصل از مجموع شاخص‌ها

مجموع	۳۰	۲۹	...	۵	۴	۳	۲	۱	TMUs
	۰/۰۰۹۸۹	۰/۰۰۷۱۷	...	۰/۲۲۸۰۲	۰/۳۳۲۶۳	۰/۵۹۲۷۲	-۰/۳۱۰۵۶	۰/۴۷۵۵	(BMG)
	۰/۰۰۹۸۹	۰/۰۰۷۱۷	...	۰/۲۴۵۷	۰/۴۴۹۵	۰/۶۵۹۶	-۰/۳۱۰۶	۰/۶۲۷۷	(MGPC)
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
	۰/۶۷۲۵	۰/۲۶۵۳	...	۰/۲۲۸۰	۰/۳۹۵۶	۰/۵۹۲۷	-۰/۳۱۰۷	۰/۵۳۲۶	(MAG)

جدول ۷- شاخص ترکیبی شدت بیابانزایی (C.I) به تفکیک واحدهای کاری در منطقه خضرآباد

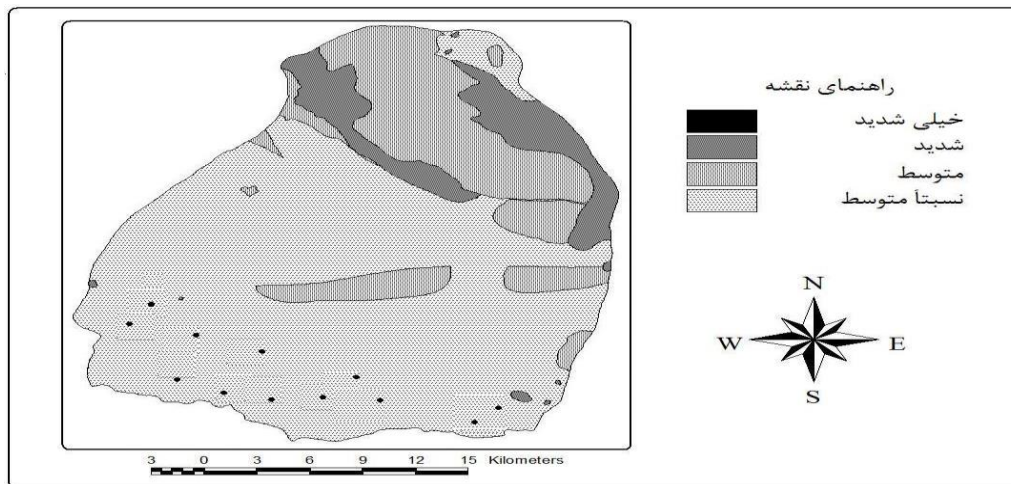
کل	انسانی	طبیعی	EVI
			TMUs
-۲/۲۹۰۹۸	۰/۴۴۵۰۹	۰/۲۴۴۷۳	(BMG)
-۰/۹۸۹۱۶	۰/۹۶۴۴۸	۰/۸۷۹۷۱	(MGPC)
۰/۰۲۳۰۴	۱/۲۳۵۵۱	۱/۵۰۸۴۱	(BPPC)
۲/۵۰۷۶۶	۱/۱۲۷۳۸	۳/۳۲۴۳۵	(BEP)
۱/۴۶۲۸۸	۱/۰۵۳۴۳	۳/۱۹۰۳۹	(EPPC)
۱۰/۹۷۶۵۶	۶/۶۵۳۰۹	۴/۵۳۸۵۲	(PAG)
۴/۹۷۰۹۹	۱/۸۸۶۹۹	۵/۸۹۹۱۲	(CGPC)
۴/۴۱۵۷۲	۱/۴۲۲۷	۴/۹۳۹۱۵	(BCG)
۳/۹۶۱۶۲	۱/۴۵۰۳۳	۴/۴۴۱۹۸	(BSD)
۴/۳۱۴۲۳	۱/۸۹۵۷۳	۵/۱۳۹۰۸	(SDPC)
۳/۰۶۳۳۱	۱/۹۵۸۹۹	۳/۶۹۴۴۴	(IA)
۷/۱۰۹۲۶	۷/۳۸۹۱۳	-۰/۰۸۱۱۵	(MAG)
۳/۲۹۳۷۶۱	۲/۲۹۰۲۳۸	۳/۱۴۳۲۲۸	میانگین

بر طبق مدل تحلیلی مولفه‌های اصلی (رابطه ۲)، واحدهای کاری که بیش‌ترین ضریب اولویت را دارا باشند. از شدت بیابانزایی بیش‌تری برخوردارند. در اینجا مشاهده می‌شود که ارزش‌های شدت بیابانزایی برآورد شده از رابطه ۲ یکسری از ارزش‌های پیوسته هستند که به‌منظور سهولت در خواندن و فهمیدن نتایج برآورد شده و نشان دادن تفاوت‌های ناحیه‌ای بیابانزایی می‌بایستی در سطوح مناسبی طبقه‌بندی شوند؛ بنابراین بر مبنای (جدول ۸)، شاخص‌های موثر در بیابانزایی در منطقه مطالعاتی در شش سطح طبقه‌بندی شدند.

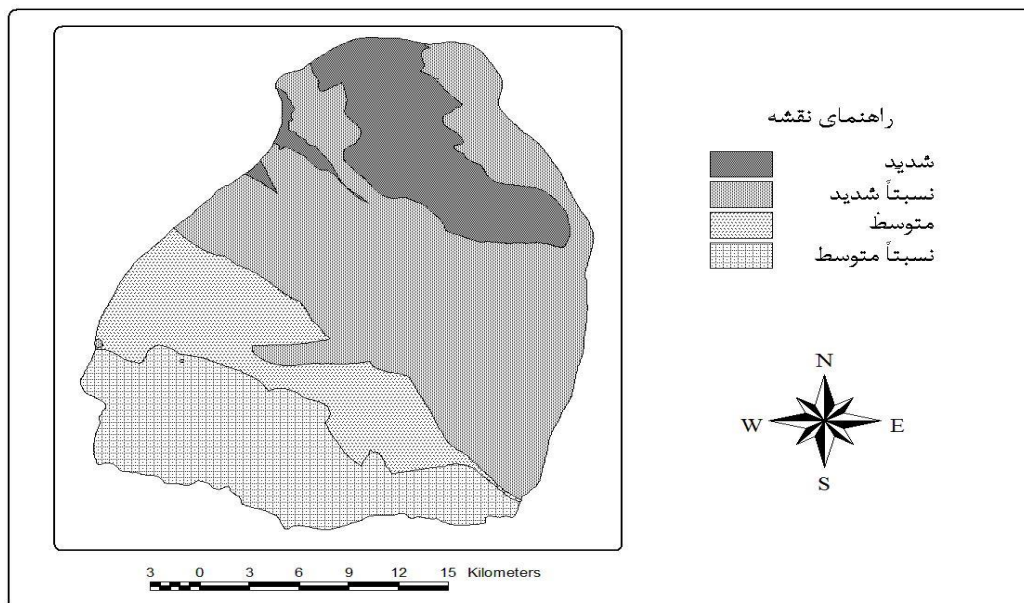
جدول ۸- طبقه‌بندی شدت بیابانزایی در منطقه خضرآباد و مساحت هر طبقه به تفکیک عوامل انسانی، طبیعی و مجموع عوامل

کل	طبیعی		انسانی		کلاس	شدت بیابانزایی (DI)	طبقات شدت
	درصد (%)	مساحت (KM ²)	درصد (%)	مساحت (KM ²)			
۲۲	۱۷۲/۶۶	۰/۴۳	۳/۳۸	-	I	$0 \geq C.I$	ناچیز (آرام)
۴۱/۸۵	۳۲۸/۵۰	۲۲	۱۷۲/۶۶	۶۹/۹۳	۵۴۸/۸۸	$0 < C.I \leq 1/5$	نسبتاً متوسط
۱/۲	۹/۴۴	۱۷/۲۸	۱۳۵/۶۵	۲۰/۷۲	۱۶۲/۶۴	$1/5 < C.I \leq 3$	متوسط
۲۵/۶	۲۰۰/۹۲	۴۶/۰۹	۳۶۱/۷۵	-	-	$3 < C.I \leq 5$	نسبتاً شدید
-	-	۱۴/۲	۱۱۱/۴۴	۸/۹۲	۶۹/۹۸	$5 < C.I \leq 7$	شدید
۹/۳۵	۷۳/۳۶	-	-	۰/۴۳	۳/۳۸	$C.I > 7$	خیلی شدید

مطابق (جدول ۸)، هر واحد کاری با توجه به شاخص شدت بیابان‌زایی محاسبه شده در یکی از طبقات شش‌گانه ناچیز (آرام)، نسبتاً متوسط، متوسط، نسبتاً شدید، شدید و خیلی شدید قرار گرفت که در نهایت بر روی نقشه واحدهای کاری، از تلفیق واحدهای دارای طبقات یکسان، نقشه‌های نهایی پتانسیل شدت بیابان‌زایی به مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ و به تفکیک شاخص‌های انسانی، طبیعی و مجموع شاخص‌ها به دست آمد (اشکال ۴، ۵ و ۶).



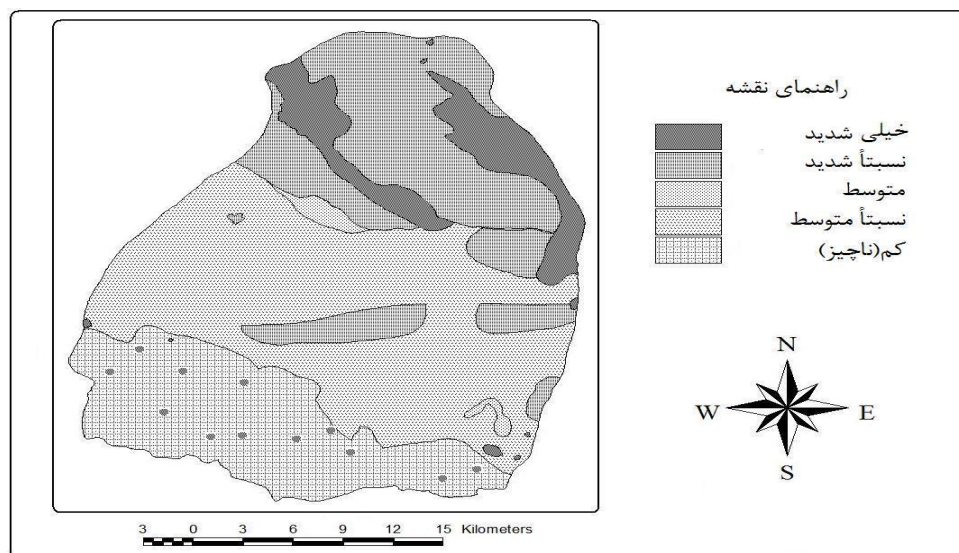
شکل ۴: نقشه پتانسیل شدت بیابان‌زایی منطقه خضرآباد بر مبنای شاخص‌های انسانی



شکل ۵: نقشه پتانسیل شدت بیابان‌زایی منطقه خضرآباد بر مبنای شاخص‌های طبیعی

براساس برآوردهای انجام شده از نظر شدت بیابان‌زایی در واحدهای کاری (جدول ۷) به ترتیب نتایج ذیل حاصل شد. از نظر شدت بیابان‌زایی ناشی از معیارها و شاخص‌های انسانی، واحد اراضی کشاورزی کوهستانی $MAG^{۳۳}$ با

بیش‌ترین ارزش کمی معادل ۷/۳۸۹ (کلاس خیلی شدید یا VI) و اراضی کشاورزی دشتی PAG^{34} با ارزش کمی ۶/۶۵۳ (کلاس شدید یا V) در درجه اول قرار گرفتند و سایر واحدهای کاری در کلاس متوسط (III) و نسبتاً متوسط (II) از لحاظ شدت بیابان‌زایی قرار گرفتند.



شکل ۶: نقشه پتانسیل شدت بیابان‌زایی منطقه خضراآباد بر مبنای مجموعه شاخص‌ها

از شاخص‌های انسانی مهم موثر در آسیب‌پذیر کردن واحدها در فرآیند بیابان‌زایی می‌توان به شخم و آیش نامناسب اراضی زراعی (۳۰ تا ۵۰ درصد اراضی به دلایل مختلف به زیر کشت نمی‌رود)، استفاده نامناسب و کم از ماشین‌آلات زراعی، استفاده ناچیز از کودهای آلی حیوانی و کود سبز و مصرف بی‌رویه سموم و کودهای شیمیایی، روش آبیاری سنتی و نامناسب با راندمان پایین (کم‌تر از ۴۰ درصد)، افت شدید سفره آب زیرزمینی (۴۵ سانتی‌متر در سال) تراکم بالای زیستی جمعیت (مابین ۲۰۰ الی ۵۵۰ نفر در کیلومتر مربع)، تغییر نامناسب کاربری اراضی، بیکاری، وسعت ناچیز اراضی کشاورزی (حداکثر ۲ الی ۳ هکتار) و مشارکت ناچیز مردم بومی در اجرای طرح‌های بیابان‌زدایی و غیره اشاره کرد.

با ارزیابی معیارها و شاخص‌های طبیعی موثر در برآورد شدت بیابان‌زایی، نتایج حاصله نشان می‌دهد که اراضی رسی با پوشش گیاهی (CGPC) و تپه‌های ماسه‌ای با پوشش گیاهی (SDPC) با حداکثر امتیاز به ترتیب معادل ۵/۸۹۹ و ۵/۱۳۹ (کلاس شدید یا V) در رتبه اول قرار دارند و در مرحله بعدی واحدهای کاری اراضی رسی لخت (BCG) و اراضی تپه‌های ماسه‌ای لخت (BSD) به ترتیب با امتیاز ۴/۹۳۹ و ۴/۴۴۲ (کلاس نسبتاً شدید یا IV)، قرار گرفتند؛ و سایر واحدهای کاری در کلاس متوسط (III)، نسبتاً متوسط (II) و ناچیز (I) از لحاظ شدت بیابان‌زایی قرار دارند.

مهم‌ترین شاخص‌های طبیعی موثر در بیابانزایی واحدها عبارتند از: دوره خشکی طولانی به‌صورتی که بخش عمده‌ای از منطقه فاقد ماه مرطوب می‌باشد، بروز روزهای متعدد توام با ماسه باد (بیش از ۱۰ روز در سال)، بالا بودن بادهای با سرعت بیش از سرعت آستانه فرسایش (۳۹ درصد)، پایین بودن نسبت بارش به تبخیر و تعرق (۰/۰۳ الی ۰/۰۵)، بارندگی کم (کم‌تر از ۶۰mm در سال)، بافت خاک متوسط تا ریز و دارای زهکشی نامناسب (۰/۵ تا ۱ اینچ بر ساعت)، وجود لایه‌های محدود کننده گچی و آهکی در عمق خاک، جابه‌جایی ظاهری تپه‌های ماسه‌ای (بیش از ۱۰ متر در سال)، بالا بودن میزان شوری و کلر آب زیرزمینی (که به‌ترتیب به ۷۶۲۰ میلی‌موس بر سانتی‌متر و ۲۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد)، وضعیت تیپ‌های گیاهی مرتعی فقیر با گرایش منفی به دلیل چرای مفرط و فشار دام (۳/۷ تا ۵/۱ برابر بیش‌تر از حد قابل‌تحمل) و بوته کنی شدید (۰/۴۰ الی ۰/۵۰ پوشش گیاهی مرتعی بر اثر بوته کنی از بین می‌رود).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصله از ارزیابی شدت بیابانزایی واحدهای کاری به تفکیک عوامل طبیعی و انسانی، غالب بودن معیارها و شاخص‌های طبیعی بر شاخص‌های انسانی در فرآیند بیابانزایی تایید می‌شود به طوری که متوسط وزنی شاخص‌ها و عوامل طبیعی ۳/۱۴۳ و متوسط وزنی عوامل انسانی ۲/۲۹۰ برآورد گردیده است. در عین حال ارزش کمی شدت بیابانزایی برای کل منطقه از مجموع عوامل ۳/۲۹۳ (کلاس نسبتاً شدید یا IV) به‌دست آمد.

نتایج حاصل از ارزیابی شدت بیابانزایی بر مبنای مدل تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) با نتایج حاصل از مدل آسیب‌پذیری زیست‌محیطی (EVI) (صادقی‌روش و همکاران، ۱۳۹۱: ۷۵) و مدل آنتروپی شانون (صادقی‌روش، ۱۳۹۲: ۵۵۷) که ارزیابی بیابانزایی را بر مبنای اولویت شاخص‌ها نسبت به هم و ارزش هر شاخص در هر واحد کاری برآورد می‌کنند، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که در مدل PCA پتانسیل شدت بیابانزایی بر مبنای شاخص‌های طبیعی، انسانی و مجموع شاخص‌ها با نتایج حاصله از مدل‌های EVI و آنتروپی شانون همخوانی دارد در عین حال ارزش کمی حاصله از آن‌ها باهم متفاوت می‌باشد و این اولاً به خاطر ماهیت مدل‌ها است که ارزش‌های کمی را در طیف‌های مختلف ارائه می‌کند و ثانیاً به خاطر طبقه‌بندی متفاوت ارزش‌های کمی در هر پژوهش بر مبنای دامنه نوسان ارزش‌های به‌دست آمده می‌باشد. همچنین به‌نظر می‌رسد از آنجا که در این روش به دلیل در نظر گرفتن مولفه‌های اصلی در فرآیند تجزیه و تحلیل و امکان کاربرد نرم‌افزار، دستیابی به نتایج با دقت، سرعت و سهولت بیش‌تری امکان‌پذیر است لذا روش PCA ارجح بر مدل EVI و آنتروپی شانون می‌باشد.

در ادامه تحلیل‌های صورت گرفته نشان داد که از کل منطقه مطالعاتی ۷۳۳۶ هکتار (۹/۳۵٪) در کلاس VI یا خیلی شدید، ۲۰۰۹۲ هکتار (۲۵/۶٪) در کلاس IV یا نسبتاً شدید، ۹۴۴ هکتار (۱/۲٪) در کلاس III یا متوسط، ۳۲۸۵۰ هکتار (۴۱/۸۵٪) در کلاس II یا نسبتاً متوسط و ۱۷۲۶۶ هکتار (۲۲٪) در کلاس I یا ناچیز قرار دارد (جدول ۸ و شکل ۶).

به‌طور کلی نتایج حاصل شده می‌تواند در ارزیابی‌های آتی به‌منظور سرمایه‌گذاری در جهت دستیابی به توسعه پایدار مدنظر قرار گرفته تا علاوه بر تضمین پایدار ارزش افزوده سرمایه‌گذاری‌ها، اکوسیستم‌های حاشیه‌ای این مناطق را به نحو مطلوب‌تری حفاظت کند. از طرف دیگر به مدیران مناطق بیابانی این امکان را می‌دهد که امکانات و سرمایه‌های محدود اختصاص یافته به‌منظور کنترل روند بیابان‌زیی را در مناطق دارای حساسیت بیش‌تر به‌کار بندند تا ضمن دستیابی به نتایج بهتر، از هدر رفتن سرمایه‌های ملی جلوگیری کنند.

در عین حال با توجه به کیفی بودن بعضی از شاخص‌های مورد بررسی که امکان اندازه‌گیری دقیق آن‌ها میسر نیست، به‌منظور ارزیابی پتانسیل شدت بیابان‌زایی به‌منظور تحقیقات بعدی پیشنهاد می‌گردد که از مدل‌های FPCA یا مدل تحلیل مولفه‌های اصلی فازی استفاده گردد. لذا، در این صورت ارزیابی و رتبه‌بندی شدت بیابان‌زایی از دقت عمل بالاتری برخوردار خواهد شد.

منابع

- احمدی، ح (۱۳۸۴)، «ژئومورفولوژی کاربردی، بیابان و فرسایش بادی»، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- احمدی، ح؛ زهتابیان، غ. ر؛ جعفری، م؛ آذرنبوند، ح؛ فیض‌نیا، سادات (۱۳۸۵)، «مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی گروه احیاء مناطق خشک»، تهران، دانشگاه تهران.
- اختصاصی، م ر و مهاجری، س (۱۳۷۶)، «روش طبقه‌بندی و شدت بیابانزایی در ایران»، مجموعه مقالات دومین همایش ملی بیابان‌زایی و روش‌های مختلف بیابان‌زدایی، ویراستاران (حسن مداح عارفی، حمیدرضا عباسی)، تهران، انتشارات معاونت آموزش و تحقیقات وزارت جهاد سازندگی، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، صص ۵۲-۳۵.
- ایران‌زاده، س؛ برقی، امیر (۱۳۸۸)، «رتبه‌بندی و ارزیابی عملکرد بانک با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)»، فصلنامه مدیریت، شماره ۱۴، صص ۶۱-۴۷.
- جانسون، ر؛ ویچرن، د (۱۳۷۸)، «تحلیل آماری چند متغیری کاربردی»، (ترجمه حسین‌علی نیرومند)، مشهد، دانشگاه فردوسی.
- خادم چین‌مقدم، ف؛ صدقی، ح؛ کاوه، ف؛ منشوری، م (۱۳۸۹)، «پهنه‌بندی حداکثر بارش روزانه ایران»، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۱، صص ۱۰۶-۹۷.
- سیفی، ا؛ میرلطیفی، س. م؛ ریاحی، ح (۱۳۸۹)، «توسعه مدل ترکیبی رگرسیون چندگانه تحلیل مولفه‌ها و عامل‌های (MLR-PCA) در پیش‌بینی تبخیر-تعرق مرجع»، نشریه آب و خاک، شماره ۶، صص ۱۱۹۶-۱۱۸۹.
- شیخ‌الاسلامی، ع. ر؛ باقری‌خلیلی، ف؛ محمودآبادی، ع (۱۳۹۱)، «کاهش متغیرهای ورودی در فرآیند مدل‌سازی تصادف آزادراه‌ها با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی»، مجله مهندسی حمل و نقل، شماره ۴، صص ۳۳۸-۳۲۵.
- صادقی‌روش، م. ح (۱۳۹۳)، «پهنه‌بندی پتانسیل خطر بیابان‌زایی با استفاده از رویکرد MADM و مدل آنتروپی شانون، مطالعه موردی: منطقه خضرآباد یزد»، پژوهش‌های خاک، شماره ۳، صص ۵۷۲-۵۵۷.
- صادقی‌روش، م. ح؛ زهتابیان، غ. ر؛ ظه‌مورث، م (۱۳۹۱)، «ارزیابی آسیب‌پذیری زیست‌محیطی نسبت به خطر بیابان‌زایی، مطالعه موردی منطقه خضرآباد یزد»، پژوهش‌های آب‌بخیزداری، شماره ۹۶، صص ۸۷-۷۵.
- فریادی، س؛ شاهدی، ک؛ نبات‌پور، م (۱۳۹۱)، «مطالعه پارامترهای کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره»، پژوهشنامه مدیریت حوضه آب‌بخیز، شماره ۶، صص ۹۲-۷۵.
- قربانی، ر؛ حسین‌زاده دلیر، ک؛ شکری فیروزجاه، پ (۱۳۹۱)، «بررسی آلودگی هوای شهر تبریز بر اساس تحلیل مولفه‌های اصلی»، جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۳۹، صص ۱۰۸-۸۹.

- قورچی‌روکی، م؛ کریم‌پور، م. ح (۱۳۸۹)، «کاربرد تحلیل مولفه‌های اصلی در شناسایی آنومالی‌های ژئوشیمیایی در ناحیه فیض‌آباد، شمال‌شرق ایران»، نخستین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، ۲۱-۲۲ شهریور ۱۳۸۹، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، صص ۸۱۵-۸۱۰.
- قهرودی‌تالی، م (۱۳۸۳)، «کاربرد Arc VIVE در ژئومورفولوژی»، تهران، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تربیت‌معلم.
- کلانتری، خ (۱۳۹۰)، «برنامه‌ریزی و توسعه منطقه‌ای، تئوری‌ها و تکنیک‌ها»، تهران، انتشارات خوشبین.
- مدرس، ر؛ فیض‌نیا، س؛ نصری، م؛ نجفی، ع (۱۳۸۹)، «بررسی و تعیین مناطق همگن بر پایه برخی عامل‌های موثر بر میزان رسوب زایی»، نشریه مرتع و آبخیز، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۲، صص ۲۶۰-۲۴۹.
- نوری، ر؛ اشرفی، خ؛ اژدرپور، ا (۱۳۸۷)، «مقایسه کاربرد روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چند متغیره بر اساس تحلیل مولفه‌های اصلی برای پیش‌بینی غلظت میانگین روزانه کربن مونوکسید: بررسی موردی شهر تهران»، مجله فیزیک زمین و فضا، شماره ۳۴، صص ۱۵۲-۱۳۵.
- Abdi, H., Williams, L. J., (2010), "Principal component analysis", Wiley Interdisciplinary Reviews, *Computational Statistics*, 2: 433-459.
- Bhardwaj, V., Singh, D. S., Singh, A. K., (2010), "Water quality of the Chhoti Gandak River using principal component analysis, Ganga Plain, India", *Journal of Earth System Science*, 119: 117-127.
- Camdevyren, H., Demyr, N., Kanik, A., Keskin, S., (2005), "Use of principal component scores in multiple linear regression models for prediction of Chlorophyll-a in reservoirs", *Ecological Modelling*, 181: 581-589.
- Egena, S. A., Ijaiya, A. T., Ogah, D. M., Aya, V. E., (2014), "Principal component analysis of body measurements in a population of indigenous Nigerian chickens raised under extensive management system", *Journal of Slovak Journal of Animal Science*, 47 (2): 77-82.
- European commission., (1999), "*Mediterranean Desertification and Land use MEDALUS*", MEDALUS office, London, 88 p.
- Firdaus, B., Satheesh, K. J., (2014), "Visualization of chemical space using principal component analysis", *World Applied Sciences Journal*, 29: 53-59.
- [FAO, UNEP] Food and Agriculture Organization and United Nations Environmental Program., (1984), "*Provisional Methodology for Assessment and Mapping of Desertification*", Rome: FAO. 235 p.
- Jhaldiyal, T., Mishra, P. K., (2014), "Analysis and prediction of diabetes mellitus using PCA, REP., SVM", *International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)*, 2 (8): 164-166.
- Hiscock, K. M., Lovett, A. A., Brainard, J. S., Parfitt, J. P., (1995), "Groundwater vulnerability assessment: two case studies using GIS methodology", *The Geological Society*, 28: 179-194.
- Li, T., Zang, Q., (2011), "The application of principal component analysis on financial analysis in real estate listed company", *Journal of Procedia Engineering*, 15: 4499-4503.
- Liu, C. W., Lin, K. H., Kuo, Y. M., (2003), "Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan", *Science of the Total Environment*, 313: 77- 89.

- Mohan, S., Arumugam, N., (1996), "Relative importance of meteorological variables in evapotranspiration: Factor analysis approach", *Journal of Water Resource Management*, 10 (1): 1-20.
- Noori, R., Sabahi, M, S., Karbassi, A. R., Baghvand, A., Tatti Zadeh, H., (2010), "Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set", *Journal of Desalination*, 260: 129-136.
- Ouyang, Y., (2005), "Application of principal component and factor analysis to evaluate surface water quality monitoring network", *Water Reservoir*, 39: 2621-2635.
- Park, S., Jung, S, Y., (2014), "Principal component analysis of water pipe flow data", *Journal of Procedia Engineering*, 89: 395-400.
- Pezhman, H. A., Nabi Bidhendi, GH. R., Karbasi, A, R., Mehrdadi, N., Bidhendi, M, E., (2009), "Evaluation of spatial and seasonal variations in surface water quality using multivariate statistical techniques", *International Journal of Environmental Science and Technology (IJEST)*, 6: 467-476.
- Qiu, Y., Fu, B., Wang, J., Chen, L., Meng, Q., Zhang, Y., (2010), "Spatial prediction of soil moisture content using multiple-linear regressions in a gully catchment of the Loess Plateau, China", *Journal of Arid Environment*, 74 (2): 208-220.
- Sadeghi Ravesh, M. H., Ahmadi, H., Zehtabian, G. R., Rehayi Khoram, M., (2009) "Development of the numerical taxonomy model to assess desertification: an example of modeling intensity in central iran", *Journal of Philipp Agric Scientist*, 92 (2): 213- 227.
- Simeonov, V., Stratis, J. A., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsas, D., Anthemidis, A., Sofoniou, M., Kouimtzis, Th., (2003), "Assessment of the surface water quality in Northern Greece", *Journal of Water Reservoir*, 37: 4119-4124.
- Uma Maheswara Rao, D., Sreenivasulu Reddy, T., Ramachandra Reddy, G., (2014) "Atmospheric radar signal processing using principal component analysis", *Journal of Digital Signal Processing*, 32: 79-84.
- Wang, X. D., Zhong, X. H., Liu, S. Z., Wang, Z. Y., Li, M. H., (2008), "Regional assessment of environmental vulnerability in the Tibetan Plateau: development and application of a new method", *Journal of Arid Environment*, 72 (10): 1929-1939.